

CONTINUOUS CARBURIZATION METHOD FOR METALLIC BAND

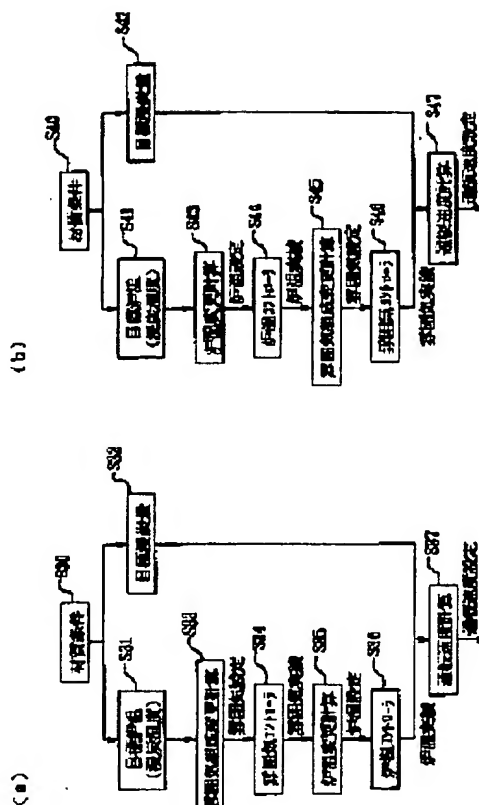
Patent number: JP6192814
Publication date: 1994-07-12
Inventor: NAKAGAWA FUTAHICO others: 02
Applicant: KAWASAKI STEEL CORP
Classification:
 - international: C23C8/22; C21D1/06; C21D1/76
 - european:
Application number: JP19920344477 19921224
Priority number(s):

Report a data error here

Abstract of JP6192814

PURPOSE: To provide the continuous carburization method which satisfies, as far as possible, the desired carburization quantity to respective steel sheets under the conditions of not generating sooting in a non-stationary state transferring from the previous stationary state of the carburization conditions to the next stationary state and shortens the defective treatment time thereof.

CONSTITUTION: Controlled variables, such as carburization temp., gaseous atmosphere compsn., gaseous compsn. concn. and sheet pass speed, are usually set so that the desired carburization quantity is attained in preference to the shorter order of the control response time in the above-mentioned non-stationary state. For example, the CO concn. and H₂ concn. in the gaseous atmosphere compsn. are increased (S30 to S36) within the range where the sooting does not arise according to the actual records of the rise of the in-furnace temp. to be preceded in the case of raising of the the carburization temp. of the long control response time. The in-furnace temp. is lowered (S40 to S46) within the range where the sooting does not arise according to the actual records of the decrease of the CO concn. and H₂ concn. to be preceded and the sheet pass speed is set (S37, S47) according to the actual records thereof in the case of lowering of the carburization temp.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-192814

(43)公開日 平成6年(1994)7月12日

(51)IntCl ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 3 C	8/22	7516-4K		
C 2 1 D	1/06	A		
	1/76	U		

審査請求 未請求 請求項の数7(全 19 頁)

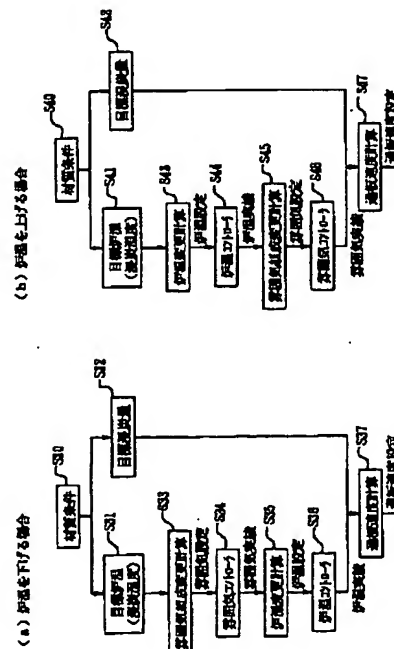
(21)出願番号	特願平4-344477	(71)出願人	000001258 川崎製鉄株式会社 兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号
(22)出願日	平成4年(1992)12月24日	(72)発明者	中川 二彦 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(72)発明者	花園 宣昭 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(72)発明者	蔵本 浩史 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(74)代理人	弁理士 森 哲也 (外2名)

(54)【発明の名称】 金属帯の連続浸炭方法

(57)【要約】

【目的】浸炭条件の先の定常状態から次の定常状態へ移行する非定常状態で、スーティングの発生しない条件下で、各鋼板への所望浸炭量を可能な限り満足し、材質不良箇所又はその所要処理時間を短くする連続浸炭方法を提供する。

【構成】前記非定常状態において、通常は浸炭温度、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、通板速度等の制御量を、制御応答時間の短い順に優先して所望される浸炭量が達成されるように設定するが、例えば制御応答時間の長い浸炭温度を上昇する場合は先行される炉内温度の上昇の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成中のCO濃度、H₂濃度を増大し(S30~S36)、浸炭温度を下降する場合は先行されるCO濃度、H₂濃度の減少の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で炉内温度を下降し(S40~S46)、それらの実績に応じて通板速度を設定する(S37、S47)構成とした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所望される仕様諸元が異なる金属板をも一連の金属帯となし、これを浸炭帯の浸炭炉内に連続的に通板して連続ガス浸炭を施す金属帯の連続浸炭操業において、金属板の継ぎ目や金属帯への浸炭量を変化すべき箇所のように、先の金属板と次の金属板とで所望される金属板の仕様諸元が異なる非定常状態の金属帯の連続浸炭方法において、先の金属板における先の定常状態から、次の金属板における次の定常状態に移行する、非定常状態の間に、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度、通板速度等の制御量のうち、いずれか一つ又は二以上を、スーティングの発生しない条件下で、前記金属板の異なる仕様諸元から得られる浸炭量を満足するように制御して非定常状態の浸炭量制御を行うことを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

【請求項2】 前記非定常状態の浸炭量制御を行うにあたり、この非定常状態を挟んだ次の定常状態における各制御量を設定し、この制御量を満足するために各制御量のいずれか一つ又は二以上を先の定常状態から変更する場合、前記スーティングの発生しない条件下で、変更される浸炭温度を得るための炉内温度の変動を考慮して前記雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度を設定することを特徴とする請求項1に記載の金属帯の連続浸炭方法。

【請求項3】 前記浸炭温度を上昇する場合には、炉内温度の上昇を先行させて、その炉内温度の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成中の一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度を増大させることを特徴とする請求項1又は2に記載の金属帯の連続浸炭方法。

【請求項4】 前記浸炭温度を下降する場合には、雰囲気ガス組成中の一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度の減少を先行させて、その雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で炉内温度を下降させることを特徴とする請求項1又は2に記載の金属帯の連続浸炭方法。

【請求項5】 前記非定常状態の浸炭量制御を行うにあたり、この非定常状態を挟んだ次の定常状態における各制御量を設定し、この制御量を満足するために各制御量のいずれか一つ又は二以上を先の定常状態から変更する場合であって、前記浸炭温度を変更しない場合には、この浸炭温度の条件下で炉内温度の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度を変更することを特徴とする請求項1に記載の金属帯の連続浸炭方法。

【請求項6】 前記非定常状態の浸炭量制御を行うにあたり、前記雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度等の各制御量の変更される場合も変更されない場合も、これらの制御量の実績に応じて、前記各金属板に所望される浸炭量を満足するように通板速度を制御することを特

徴とする請求項1乃至5に記載の金属帯の連続浸炭方法。

【請求項7】 前記金属帯の連続浸炭操業の実際により、通板速度が規制される場合には、前記スーティングの発生しない条件下で、前記各金属板に所望される浸炭量を満足するようにその他の制御量を制御することを特徴とする請求項1乃至5に記載の金属帯の連続浸炭方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、浸炭帯の浸炭炉内に通板される金属帯を連続ガス浸炭する場合に、該浸炭炉内でスーティングが発生しない条件下で、金属板に所望される浸炭濃度分布等の仕様諸元から得られる浸炭量を達成するための金属帯の連続浸炭方法に関するものであり、特に仕様諸元の異なる金属板間の非定常状態における材質不良の抑制又は低減が可能な連続浸炭方法に適し、例えば所望される仕様諸元の異なる極低炭素鋼板をも一連のストリップとなし、これを浸炭炉内に通板して連続的にガス浸炭する場合に、各鋼板の仕様諸元から得られる浸炭量を達成するための雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度、通板速度等の制御量を時系列的に制御するのに適するものである。

【0002】

【従来の技術】例えば自動車産業のような金属二次加工産業界では、加工対象金属板に対してより高い加工性と強度との両立が要求されている。具体的に前記自動車産業界では、昨今問題化されている地球環境問題から低燃費化を追求するために車体を軽量化する必要から、プレス加工焼付塗装鋼板等に対して従来の深絞り性を維持した上でより強度の高い薄鋼板が要求される。

【0003】このような金属板の評価指標としては、例えば延性、深絞り性、時効性、強度、二次加工脆性、焼付硬化性、スポット溶接性等が考えられる。そこで、前記の深絞り性を特に重要視して、この深絞り性をランクフォード値（以下 r 値：金属板幅歪み/板厚歪み）で評価した場合、鋼中の炭素（以下 C と記す）量を低減することが最も有利であることは公知であり、加えてこの低炭素化により延性（Elongation: $E1$ ）や常温時効性（Aging Index: AI は低い程良い）も向上する。ところが一方で、鋼中の C 量が低下するに従ってその他の評価指標は大方について劣化する。例えば、析出物が減少して組織強度が低下するために引張強度（Tensile Strength: TS ）が低下し、粒界強度が低下するために二次加工脆性が劣化し、固溶 C 量が低下するために焼付硬化性が劣化する。また、鋼中 C 量50ppm以下では、溶接による加熱で粒成長速度が促進されて熱影響部（Heat Affected Zone: HAZ ）の粗粒化によってスポット溶接性が劣化する。

【0004】一方、前記金属二次加工産業界で使用され

るプレス加工塗装鋼板等では、プレス加工後に焼付塗装を行う場合が多く、そのため、プレス加工時にはその成形性を発揮し、焼付塗装時に焼付硬化性を発揮して強度が向上する高焼付硬化型鋼板が要求される。勿論、プレス加工時まではその成形性を維持できる常温遅時効性が必要となるから、結果として使用される鋼板は常温遅時効性を有する高焼付硬化型鋼板（低A I - 高B H性鋼板）を要求される。

【0005】そこで、図1に示すように極低炭素鋼からなる金属帯を連続焼鈍処理によって再結晶焼鈍することにより前記延性、深絞り性、時効性を得ながら、これに続いて、連続浸炭処理によって表層部に固溶Cを存在させることにより前記引張強度、二次加工脆性、B H性、スポット溶接性を向上するために、本出願人は図2に示すような特開平4-88126号公報に記載される連続焼鈍浸炭設備を開発した。

【0006】この連続焼鈍浸炭設備によれば、加熱帯2又は均熱帯3で金属帯に対して所定の再結晶焼鈍を行った後、鋼板温度、雰囲気諸元、搬送速度（在炉時間）、及び冷却条件を制御して浸炭処理を行うことにより、金属帯の材質仕様を満足させながら表層浸炭深さと濃度分布を所望の値とした金属帯を連続的に製造することを可能とする。

【0007】また、本出願人は前記低A I - 高B H性鋼板として特開平4-95503号に記載される有用な鋼板を開発し、提案した。この鋼板は所定量の所定元素を含有する極低炭素鋼に対して適切な焼鈍処理及び浸炭処理を施し、設定された表層部及び内層部の固溶C量又は炭素濃度分布を得ることにより、前述のような低A I - 高B H性を発揮するものである。具体的には図3に示すように、鋼板内層部のC濃度は低いままに、表層部のC濃度だけを大きく高める焼鈍処理及び浸炭処理を必要とする。

【0008】ちなみに前記金属二次加工産業界で要求される浸炭鋼板には、前記低A I - 高B H性鋼板の他に、二次加工における破断脆性を良好にした二次加工脆性向上鋼板や、優れた深絞り性と高強度を両立した深絞り性高強度鋼板（ハイテン鋼）等がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、前述のように様々な仕様諸元が要求される種々の鋼板を、多種少量生産する必要のある昨今では、これらの仕様諸元の異なる鋼板を溶接等によって一連のストリップとなして処理するため、このストリップを連続的に通板する間に、各鋼板の仕様諸元を満足する浸炭条件を設定しなければならない。この浸炭条件には、例えば前記低A I - 高B H性鋼板に見られるように浸炭濃度分布を制御することを含めて、様々な要因の設定が必要となる。この浸炭条件の設定に必要な制御量、つまり前記浸炭濃度分布を始めとする仕様諸元から得られる鋼板への浸炭量の制御量と

しては、浸炭温度、浸炭時間、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度が挙げられる。このうち、前記浸炭時間は炉内の通板速度によって設定されるから、これらの制御量を応答時間の短い順に列記すれば凡そ、通板速度、組成ガス濃度、雰囲気ガス組成、浸炭温度の順になる。

【0010】前記仕様諸元の異なる鋼板の継ぎ目等、浸炭量を変更すべき箇所では、先行される鋼板において安定した浸炭量制御を行うための各制御量と、後行される鋼板において安定した浸炭量制御を行うための各制御量とが異なる場合がある。ここで、先行される鋼板の安定した浸炭量制御の場を先の定常状態、後行される鋼板の安定した浸炭量制御の場を次の定常状態と定義付けすると、次の定常状態を満足するために、これらの各制御量のうちのいずれか一つ又は二以上を、先の定常状態から変更しなければならない場合が発生する。このように先の定常状態から次の定常状態への移行期間を非定常状態と定義付けする。

【0011】しかしながら、従来の連続浸炭方法では、この非定常状態における浸炭量制御の具体的手段が欠落しているという問題がある。具体的にこの過渡期となる非定常状態の浸炭条件では先の定常状態とも次の定常状態とも異なるために、この非定常状態で鋼板をそのまま通板したのでは、所望される仕様諸元と異なる浸炭量を得た鋼板が製造されてしまい、仕様諸元から外れた材質不良の箇所が発生する。この傾向は通板速度が大きく、又は各制御量の変更幅が大きいほど顕著になる。特に、応答時間の長い雰囲気組成や浸炭温度の制御変更量が多い場合には、大量の材質不良が発生することになる。

【0012】ところで、前記浸炭条件の制御量のうち、浸炭温度、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度の間には以下のような関係がある。浸炭温度の上昇に伴って、雰囲気ガスから分離したCが金属帯表面においてFeと結合する反応速度が上昇し、金属帯表層部から内部に向けて拡散する速度も上昇するために、全体的な浸炭速度は上昇する。一方で、この浸炭温度を達成するための浸炭炉内温度が低下すると遊離C、即ちスチーティングの発生する一酸化炭素(CO)濃度限界が下がり、テンパーカラー等の原因となる露点による水素(H₂)濃度限界も降下する。ここで、前記浸炭温度の設定条件について考察すると、材質条件から浸炭温度は再結晶温度以下が望ましい。また、定められた有効浸炭炉長で大きな処理能力を得るという条件下では、前記Feと遊離Cとの結合反応速度及び固溶Cの内部拡散速度（以下、両者を同時に考慮した場合の速度を浸炭速度と称し、その具体的な理由については後述する）を大きくするためには、スチーティングの発生しない範囲内でCO濃度を高く設定し、同時に浸炭速度そのものを大きくするために浸炭温度を高くしたい。

【0013】このようにして浸炭温度がある程度規制されると、前記スチーティング限界や露点限界から雰囲気ガス

スの組成や組成ガス濃度の上限値が設定されるから、残る浸炭量制御因子である浸炭時間、即ち在炉時間が設定され、これにより浸炭炉内の通板速度が設定される。なお、前記低A1-高BH鋼板に要求されるような浸炭濃度分布を制御する場合には、固溶Cの取り込み量を規制する金属帯表面の反応速度及び拡散速度に關与する浸炭温度から、雰囲気組成、及び拡散時間に關与する浸炭時間を求め、これに基づいて通板速度が設定されることもある。

【0014】こうしたスーティングの発生しない条件下での浸炭条件の制御或いは設定については、前記定常状態では行われつつあるが、前記非定常状態では普遍的に設定されていないのが実状である。従って従来は前記材質不良を低減するために、これに該当する箇所に通板材と呼ばれる中間介装材を用いているが、処理能率の低下は如何ともしがたく、また通板材のコストも小さくはないため、全体的な処理コストの増加原因となっている。

【0015】また、このような連続焼鈍浸炭設備の諸条件を設定する実際にあたり、以下に述べる問題が判明した。

(1) 浸炭速度については葉らの報告(葉 照實, 春山 志郎ら: 日本金属学会誌49(1985)7, 529)によって、図4に示すように金属表層部のC量がある程度高く且つ浸炭時間が長い場合、浸炭の速度は表層部のC濃度が平衡濃度(即ち平衡濃度である)に達した後、Cが金属組織内に拡散していく速度に比例するため、通常、時間の平方根に比例することになり、この時間浸炭利得域を拡散律速域と称するが、一方、前記のように金属表層部のC量が極めて低く且つ浸炭時間が極めて短い場合は、該表層部のC濃度が平衡濃度に達しないため、浸炭の速度は金属表層部と炭素とが直接的に反応する速度に比例することになり、この時間浸炭利得域を表面反応律速域と称することが知られている。

【0016】そこで、例えば前記の耐二次加工脆性の向上を対象とする金属に要求される仕様から(特開平3-199344号公報など)当該金属帯の浸炭条件を求めると、浸炭濃度も浸炭深さも極めて小さいため、この場合には表面反応律速域での浸炭処理を行う必要があり、金属帯表層部の鋼中の平衡炭素濃度を等しい状態にあると考える、従来のCO/CO₂等の管理によるカーボンポテンシャル(Cポテンシャル)制御では、金属帯への浸炭量を制御できないことが判明した。

(2) また一般に、浸炭条件における雰囲気ガス組成は化学平衡により求めることができる。従来の解法では考え得る反応を全て列挙し、これらの反応の平衡関係から、非線形の連立方程式を解くことによってガスの組成を得ている。しかし、気相系の反応式からは正確なスーティングの限界を求めることが極めて困難である。

(3) 更に、前述した表面反応速度については先の葉ら

の報告があるが、この報告ではCOガスのみにおける浸炭速度について論じられているだけで、これをそのまま、複雑な組成からなる連続浸炭操業の実際に展開することはできない。

【0017】本発明は斯かる諸問題に鑑みて開発されたものであり、特に前記非定常状態の浸炭条件の設定制御において、浸炭炉内のスーティングを発生しない条件下で、浸炭濃度分布を含む前後の鋼板の仕様諸元から得られる浸炭量を可能な限り満足して、材質不良箇所の長さ若しくはそのための所要時間を短くし、全体的なコストの低廉化を可能とする金属帯の連続浸炭方法を提供することを目的とするものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】本件発明者等は前記諸問題について鋭意検討を重ねた結果、以下の知見に基づいて本発明を開発した。即ち、前記非定常状態であっても各鋼板への浸炭量を達成するために、応答時間の長い浸炭温度や雰囲気ガス組成等の制御量を複合的に変更制御する場合には、それらの変動を時系列的に捉えた上で、より応答時間の短い制御量を変更制御しなければならない。従って、浸炭量の目標値から外れる材質不良箇所の長さが最も短くなるように前記四つの制御量の制御の優先順位と制御量とを設定することで、この非定常状態の浸炭条件の設定制御を普遍的に可能とすることができ、具体的には、次の定常状態の浸炭温度を得るために炉内温度を変更する場合、この設定炉内温度の変動の実績に応じて雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度、通板速度の順に制御を行う必要がある。なお、この実績とは現在の実績も、記憶された過去の実績も包含される。

【0019】しかしながら、浸炭炉内の実際にあっては前記スーティングの発生を防止することを考慮しなければならない。スーティングの発生はそのまま鋼板の表面性状の劣化に繋がり、材質不良箇所の長さ若しくはその所要時間を短くする本発明の趣旨とは本来的に異なる。そこで、浸炭温度を達成するための炉内温度、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度に前記のような関係があることを考慮すると、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度の変更は常に炉内温度の実績を見ながら時系列的に制御を行う必要がある。具体的には、次の定常状態までに浸炭温度を上昇する必要がある場合には、その浸炭温度を得るための炉内温度の上昇を先行し、この炉内温度の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成中の組成ガス濃度を設定しなければならない。逆に、次の定常状態までに浸炭温度を下降する必要がある場合には、その浸炭温度を得るための炉内温度の下降に先行して雰囲気ガス組成中の組成ガス濃度を変更し、その組成ガス濃度の実績に応じて同じくスーティングの発生しない範囲内で炉内温度を下降しなければならない。

【0020】これらを総括して捉えると、応答時間の短い通板速度の制御は実質的に鋼板に要求される浸炭量を

得るための最も制御し易い要素であるから、浸炭温度、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度等の雰囲気条件に応じて通板速度を変更制御することで、確実に所望する浸炭量を得ることができる。また、四つの制御量のうちで最も応答時間の長い浸炭温度の変更制御が行われない場合には、雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度の実績だけを見て通板速度を変更制御すればよい。勿論、所望される浸炭量を可能な限り達成するためには、逆に通板速度の変動に合わせて各制御量を設定することもこの内容に含まれる。

【0021】更に、前記のような連続焼鈍浸炭設備においては、浸炭帯以外の設備や、操業条件によって一連に通板される金属帯の通板速度が規制される場合がある。このような場合の非定常状態の浸炭条件の設定制御にあっても対応できる浸炭方法でなければ、真に普遍的な浸炭制御とは言えない。そこで、このような条件をも設定条件の一つとしてロジックに組み込む必要がある。

【0022】また、前記定常状態、非定常状態を問わず、前記スーティングの発生しない条件を設定するためには以下のように考えを推し進めればよい。例えば金属表面部への浸炭反応によって金属帯が雰囲気から持ち出す元素に対して、原系が持ち込む元素の量が一定であるという物質収支の制約条件を考慮し、スーティングの発生を抑止できる平衡状態を一酸化炭素濃度又は一酸化炭素濃度及び水素濃度をパラメータとし且つ浸炭温度に関する熱力学（雰囲気組成）モデル式化した。同時に、定められた炉長で最大の処理能力を得るためには浸炭速度を大きくすることが必要であるから、このスーティングの発生しない範囲内で前記一酸化炭素濃度を大きくする必要があり、このようにして一酸化炭素濃度を設定した場合に、従来、普遍化されていない水素濃度の設定をこの一酸化炭素濃度を基準として行うこととした。具体的には後述する表面反応律速域での浸炭反応を阻害しない関係式に基づいて水素濃度を設定する。

【0023】一方、前記定常状態及び非定常状態における、例えば前述のように金属表面部の炭素濃度が平衡濃度に達する以前の表面反応律速域で、金属帯への浸炭量を制御するためには、まず当該反応速度域における表面反応速度を得、この反応速度を時間積分すればよいことに着目した。この時間、即ち浸炭時間は通板速度によって決定される。そして、この表面反応速度を研究するうちに、金属帯と雰囲気ガスとの表面反応で考えられる浸炭反応の式と脱酸素反応の式とに含まれるガスの組成を制御することにより、反応速度を制御できることを見出した。そしてこのガス組成に最も有効となるのは一酸化炭素と水素であり、特に高温下で雰囲気ガスの供給／排出流量の小さい場合には組成量は少ないが二酸化炭素及び H_2O も、浸炭反応を阻害するといった意味で影響があることを見出し、更にこれらの組成は、その分圧が前記表面反応速度の制御因子であることを実験により証

明した。また、物質反応の温度に対する依存度を考慮し、表面反応速度の係数に、温度という制御因子を介在させることとした。

【0024】また、定常、非定常状態で、前記低A1-高BH鋼板のように金属帯の浸炭濃度分布が要求される場合は、前記浸炭量一定の制約条件下で表面反応速度と浸炭時間とを制御する。即ち、浸炭量＝表面反応速度×浸炭時間、である。この表面反応速度の制御因子には前記浸炭雰囲気ガス組成、組成濃度、浸炭温度というパラメータが存在することは前述のとおりである。そこで具体的に、例えば金属帯の表面部のC濃度を高くする（C濃度勾配を急峻にする）場合には、浸炭時間を短くすると共に表面反応速度を大きくし、表面部のC濃度を低くする（C濃度勾配を緩やかにする）場合には、浸炭時間を長くすると共に表面反応速度を小さくする。

【0025】而して本発明のうち請求項1に係る金属帯の連続浸炭方法は、所望される仕様諸元が異なる金属板をも一連の金属帯となし、これを浸炭帯の浸炭炉内に連続的に通板して連続ガス浸炭を施す金属帯の連続浸炭操業にあって、金属板の継ぎ目や金属帯への浸炭量を変化すべき箇所のように、先の金属板と次の金属板とで所望される金属板の仕様諸元が異なる非定常状態の金属帯の連続浸炭方法において、先の金属板における先の定常状態から、次の金属板における次の定常状態に移行する、非定常状態の間に、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度、通板速度等の制御量のうち、いずれか一つ又は二以上を、スーティングの発生しない条件下で、前記金属板の異なる仕様諸元から得られる浸炭量を満足するように制御して非定常状態の浸炭量制御を行うことを特徴とするものである。

【0026】本発明のうち請求項2に係る金属帯の連続浸炭方法は、前記非定常状態の浸炭量制御を行うにあたり、この非定常状態を挟んだ次の定常状態における各制御量を設定し、この制御量を満足するために各制御量のいずれか一つ又は二以上を先の定常状態から変更する場合、前記スーティングの発生しない条件下で、変更される浸炭温度を得るための炉内温度の変動を考慮して前記雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度を設定することを特徴とするものである。

【0027】本発明のうち請求項3に係る金属帯の連続浸炭方法は、前記浸炭温度を上昇する場合には、炉内温度の上昇を先行させて、その炉内温度の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成中の一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度を増大させることを特徴とするものである。本発明のうち請求項4に係る金属帯の連続浸炭方法は、前記浸炭温度を下降する場合には、雰囲気ガス組成中の一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度の減少を先行させて、その雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度の実績に応じて、スーティングの発生しない範囲

内で炉内温度を下降させることを特徴とするものである。

【0028】本発明のうち請求項5に係る金属帯の連続浸炭方法は、前記非定常状態の浸炭量制御を行うにあたり、この非定常状態を挟んだ次の定常状態における各制御量を設定し、この制御量を満足するために各制御量のいずれか一つ又は二以上を先の定常状態から変更する場合であって、前記浸炭温度を変更しない場合には、この浸炭温度の条件下で炉内温度の実績に応じてスーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度を変更することを特徴とするものである。

【0029】本発明のうち請求項6に係る金属帯の連続浸炭方法は、前記非定常状態の浸炭量制御を行うにあたり、前記雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度の各制御量等が変更される場合も変更されない場合も、これらの制御量の実績に応じて、前記各金属板に所望される浸炭量を満足するように通板速度を制御することを特徴とするものである。

【0030】本発明のうち請求項7に係る金属帯の連続浸炭方法は、前記金属帯の連続浸炭作業の実際により、通板速度が規制される場合には、前記スーティングの発生しない条件下で、前記各金属板に所望される浸炭量を満足するようにその他の制御量を制御することを特徴とするものである。

【0031】

【作用】本発明の金属帯の連続浸炭方法では、例えば以下のようにして各鋼板における定常状態の浸炭条件の各制御量を設定する。前記浸炭速度が金属帯表面部から内部への拡散速度よりも大きい表面反応速度に従う反応速度域を含めて、鋼板の仕様諸元から金属帯への浸炭量と条件として設定し、浸炭条件である再結晶温度以下で浸炭反応を大きくするための浸炭温度を設定し、当該浸炭温度における浸炭炉内のスーティング限界の基礎式又はこの基礎式と浸炭反応を阻害しない関係式から雰囲気ガス組成中の各組成ガス濃度、特に一酸化炭素濃度又は一酸化炭素濃度及び水素濃度の制御量を算出し、これに基づいて算出される一酸化炭素分圧又は一酸化炭素分圧及び水素分圧の制御量と、当該浸炭温度の制御量に関する基礎式から算出される浸炭の反応速度に係る温度依存係数とに基づいて単位時間当たりの浸炭速度を算出し、前記浸炭量をこの浸炭速度で微分して浸炭時間を算出するか、或いは前記表面反応速度に応じて設定される前記浸炭濃度分布を達成する浸炭時間を算出し、これらの浸炭時間で有効浸炭炉長を除して浸炭炉内の通板速度を算出する。

【0032】そして本発明では、このようにして設定された各鋼板の定常状態間の非定常状態で、前記雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度、通板速度の制御量のうち、いずれか一つ又は二以上を、スーティングの発生しない条件下で、前記金属板の異なる仕様諸元から得ら

れる浸炭量を満足するように制御する。この非定常状態の浸炭量制御にあたり、制御応答時間の長い浸炭温度を変更する場合には次の定常状態における浸炭温度を得るための炉内温度の変動を考慮して前記雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度を設定する。ここで具体的に、前記浸炭温度を上昇する場合には、炉内温度の上昇を先行させて、その炉内温度の実績に応じて、前述したスーティング限界の基礎式や関係式を用いて前記スーティングの発生に大きく影響する雰囲気ガス組成中の一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度を増大させる。一方、前記浸炭温度を下降する場合には、雰囲気ガス組成中の一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度の減少を先行させて、その雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度の実績に応じて炉内温度を下降させる。これにより、浸炭炉内のスーティングの発生を未然に防止することを可能とする。

【0033】一方、前記浸炭温度を変更しない場合には、この浸炭温度の条件下で炉内温度の実績に応じて、前記スーティング限界の基礎式や関係式で設定されるスーティングの発生しない範囲内で雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度、具体的に雰囲気ガス組成中の前記一酸化炭素ガス濃度又は一酸化炭素ガス濃度及び水素ガス濃度を変更する。

【0034】このようにして、前記雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、浸炭温度の各制御量に変更される場合も変更されない場合も、これらの制御量の実績に応じて、各制御量のうち最も応答時間の短い通板速度を制御することにより、前記各金属板に所望される浸炭量を可能な限り達成することができる。なお、ここで言う実績とは、検出される現在の実績も、記憶された過去の実績も採用することが可能である。従って、現在の実績に応じたりリアルタイムな非定常状態の浸炭条件の設定も、過去の実績から算出した非定常状態の浸炭状態をフィードフォワードに設定することも可能とする。

【0035】更に本発明の金属帯の連続浸炭方法では、金属帯の連続浸炭作業の実際により、通板速度が規制される場合には、前記スーティングの発生しない条件下で、非定常状態でも前記各金属板に所望される浸炭量を満足するようにその他の制御量を制御する。具体的に、規制される通板速度から浸炭時間が算出されるから、前記と逆の手段によって浸炭温度、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度を設定することができる。

【0036】ちなみに特に高温下で雰囲気ガスの供給・排出流量が小さい場合にあっては、浸炭反応を阻害するといった影響を考慮する意味で、例えば前記表面反応速度の基礎式に二酸化炭素分圧及び H_2O 分圧を加えることにより、 CO_2 、 H_2 、 O が存在する浸炭条件下での金属帯の浸炭量を更に正確に制御することが可能となる。

【0037】

【実施例】図2は本発明の金属帯の連続浸炭方法を実施

化した極低炭素鋼からなるストリップの連続焼鈍浸炭設備の一例を示すものである。同図において所望される仕様諸元の異なる鋼板を含む各極低炭素鋼板は、コイル巻戻し機、溶接機、洗浄機等を有する図示しない入側設備によって一連のストリップとなされ、このストリップAは、前記入側設備から予熱帯1、加熱帯2、均熱帯3、浸炭帯4、第1冷却帯5、第2冷却帯6、剪断機、巻取り機等の図示しない出側設備の順に通板される。

【0038】前記加熱帯2は、入側設備から連続的に送給されて予熱帯1で予熱されたストリップAを再結晶温度以上まで加熱するものであり、具体的には炉内温度が850～1000℃でストリップAの温度が700～950℃になるように当該ストリップを加熱する。そして加熱されたストリップAは前記均熱帯3で必要な時間、再結晶温度以上に保持されることにより、深絞り性に有利な(1, 1, 1)集合組織を発達させることができる。

【0039】この加熱帯2及び均熱帯3内を、ハースロールを介して上下に昇降しながら通板されるストリップの通板路近傍には多数のラジアントチューブが配設されており、このラジアントチューブに送給される燃料ガスを燃焼させて炉内温度(炉温)を制御する。本実施例では、この燃料ガスの供給流量の設定は、通板されて炉から熱量運び出すストリップへの加熱量に排ガス損失熱及び炉体放熱等を加えた炉内の熱収支から求まる炉の要求(必要)熱量と同等と見なされて、図示されないホストコンピュータにより後述するライン全体の制御ロジックに則って行われる。

【0040】前記浸炭帯4は、ストリップA表面の極薄い部分(表層部)に固溶炭素(C)が存在する浸炭層を形成するために、該浸炭帯4内の浸炭炉は図示されないホストコンピュータにより700～950℃の炉内温度に制御して、ストリップ温度(板温)が700℃以上、好ましくは再結晶温度以下となるようにし、またストリップが浸炭炉内を10～120秒で通過するように通板速度が制御される。ちなみに前記炉温制御は、浸炭量(浸炭反応速度)をストリップの通板方向に対して一定とし、材質上のバラツキを抑止するために行う。また、既知のようにスチーティング、即ち鋼板の表面に遊離炭素[C]が付着すると、表面品質低下及び後工程の弊害要因となる。同時に炉内の反応が所定方向、例えば浸炭反応方向に促進した結果、露点が上昇すると浸炭反応が阻害されたり、ストリップ表面に酸化が生じてテンパーカラーの原因となったりするため、炉内物性及び炉内温度は後述する浸炭条件設定ロジックに基づいて重要に管理されている。

【0041】本発明では、この浸炭炉内の物性、浸炭温度、通板速度即ち浸炭時間は、連続浸炭の実際における制御対象物理量(制御量)と見なされ、前記ホストコンピュータにより、ストリップに形成されるべき要求され

る浸炭層の浸炭濃度分布、浸炭深さ等の仕様諸元から、例えば必要な浸炭量を与条件として設定し、後述する予め設定したこれら制御量に関する各種の基礎式を適宜取捨選択して、当該浸炭量を実現するための各制御量を算出し、その他の設備の能力やプロセスをも考慮して、それらの制御量を設定するようにしてある。

【0042】また、この実施例において浸炭炉内に供給される浸炭ガスの組成、濃度及び供給・排出流量は、前記ホストコンピュータが、後述する炉内の物質収支を考慮して炉内の自由エネルギーを最小とする雰囲気組成モデル式に基づいて算出した、諸条件に従って制御されている。この浸炭ガスの組成、濃度及び供給・排出流量は、前記CO₂及び露点上昇を抑制して浸炭反応速度の低下やテンパーカラーを防止するように制御される。

【0043】ちなみに浸炭炉内のストリップはハースロール20を介して炉内を昇降しながら通板されているが、これらのハースロール20はその回転性及びロールクラウンを所定状態に保持するために、例えば軸受近傍等が冷却されている。また、ロール自体の強度及び耐摩耗性を維持するためにハースロールにはクロムCr合金が使用されている。ところが、前記浸炭雰囲気ガスがハースロール近傍まで及ぶと冷却されてスチーティングが進行するため、ハースロールにCが付着した後、ハースロール内部にCが拡散する。このようになると前記CrとCが結合してCr炭化物が析出し、これによりハースロールに用いられている耐熱合金の結晶粒が破壊され或いは膨張し、一方で固溶Crが減少するため、ハースロールが脆化、酸化されることにより孔状の腐食が進行する。このようにハースロールを浸炭雰囲気ガス中に曝すと、本件発明者等の実験によれば2年以内でハースロールを交換しなければならないことが判明している。そこで本実施例では、ハースロール室を非接触のシール装置21によって浸炭雰囲気から分離してハースロールの劣化を防止するようにし、また該ハースロール室内を前記ハースロールの劣化が進行しない程度の微弱浸炭状態とすることによって、分離されたハースロール室内をストリップが通過する間に浸炭された表層部からCが放散する、所謂脱炭を防止することに成功した。なお、ストリップがハースロール室を通過する時間が極めて短く、当該時間に係る鋼板表層部からの脱炭が問題とならない場合には、前記ハースロール室内を非浸炭雰囲気としてもよい。

【0044】前記シール装置21はここではその構造を詳述しないが、例えばハースロール室と浸炭雰囲気室との間に介装されたシール層を3層構造とし、このうちハースロール室側のシール層には前記弱浸炭雰囲気ガスを噴出し、浸炭雰囲気室側のシール層には前記浸炭雰囲気ガスを噴出し、中間のシール層からは排気を行うようにし、更に各雰囲気ガスの噴射方向及び噴射流量を制御して各雰囲気ガスの流れが前記中間のシール層側に向かう

ようにすると共に、ストリップの通板に伴う板層流によって発生する循環流をシール層のうちストリップの幅方向端面に形成された排出口から排気する構成とした。

【0045】この浸炭帯4から送出されたストリップAは前記第1冷却帯5に送給される。この第1冷却帯5ではストリップの表層部のうち表面の極薄い範囲にのみ固溶Cを固定するため、浸炭後のストリップを、鋼板温度が600℃以下、好ましくは500～400℃程度になるまで20℃/sec.以上の冷却速度で急冷する。この第1冷却帯5内ではこの冷却条件が達成できるように、前記ホストコンピュータにより冷却帯内を搬送されるストリップに対して冷却ガスジェットから吹付けられる吹付けられる冷却ガス流量、流速及び冷却ロールの温度、巻付け角等が制御される。

【0046】前記第1冷却帯5から送出されたストリップAは次いで第2冷却帯6に送給される。この第2冷却帯6では鋼板温度が250～200℃程度までガス冷却が行われる。このようにして最終的には表層部にのみ固溶Cが存在する極低炭素のプレス成形用冷延鋼板を得ることができる。次に、本実施例の連続焼鈍浸炭設備において、前記ホストコンピュータで行われるトータルな連続焼鈍浸炭制御の構成概念について説明する。なお、本発明に係る浸炭制御の他に、他の熱処理帯で行われる板温制御にも前述のような定常状態、非定常状態を含んだ制御が必要であり、以下はそれらを包含した全ての場の制御を可能とするロジックの構成概念の説明である。

【0047】まず、前述したように浸炭帯における浸炭制御では、鋼板中の浸炭濃度分布が要求される場合を含めて、浸炭量は目標材質を得るための与条件として与えられる。そして、材質条件から浸炭温度の上限は再結晶温度以下に設定される。一方、定められた有効浸炭炉長で最大の処理能力を得るためには前述した浸炭量＝浸炭反応速度×浸炭時間の原理に基づいて浸炭反応速度を大きくする必要があり、この必要から浸炭反応速度に関与する浸炭温度は高いほどよく、これは後述するスーティングの発生を防止してCO濃度上限を高くすることにも繋がる。

【0048】本実施例では前述したようにスーティングの発生限界を物質収支を考慮した熱力学（雰囲気組成）モデル式により得ることができるが、単にスーティングの発生しない範囲からという条件だけでは、雰囲気組成に関与するCO濃度及びH₂濃度を設定することが困難である。そのため、本実施例では前記浸炭反応速度を阻害しない関係式を予め設定し、例えば前記スーティングの発生しない雰囲気組成モデル式によって得られたCO濃度を基準として、この関係式を用いてH₂濃度を算出する。具体的には、

$$H_2 \text{ 濃度} = a \times (CO \text{ 濃度})$$

但し、

$$a: 0 \leq a < 5 \text{ の範囲の定数}$$

で表される。この定数aは、具体的には後述する表面反応速度の基礎式で、反応を阻害するCO₂とH₂Oの生成濃度を最小に抑える値に設定され、通常は0.5～1.0の範囲で設定することが多い。即ち、この関係式を満足するときに、表面反応速度式に基づく浸炭反応速度は最大となる。また、表面反応速度が設定されると所望される浸炭濃度分布を達成するための浸炭時間が設定される。即ち、表層部のC濃度だけを高めて内層部のC濃度との勾配を急峻にする場合には、浸炭反応速度を大きくして（浸炭力を高めて）浸炭時間を短くすればよい。逆に、鋼板のC濃度全体を高めて内層部と表層部とのC濃度勾配を緩くする場合には、浸炭反応速度を小さくして（浸炭力を低めて）浸炭時間を長くすればよい。これらの浸炭反応速度と浸炭時間の制御は、前述した浸炭量一定の制約条件を満足する。

【0049】そして、前記加熱帯や均熱帯等の項でもふれたように各板温制御帯でも夫々の炉の能力計算やプロセス計算によって最適な通板速度が設定される。以上が各熱処理帯における鋼板の定常状態の板温制御及び浸炭制御の条件となる。一方、次の鋼板の定常状態に移行する非定常状態において、浸炭帯以外の熱処理帯（板温制御帯）では、炉内温度の変動の実績に応じて通板速度を設定しなければならない。更に浸炭帯では、炉内温度の変動の実績に応じて雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度から設定される雰囲気組成を設定し、更にそれら全ての実績に応じて浸炭量を可能な限り満足する通板速度を設定しなければならない。この実績には、検出された現在の実績も記憶された過去の実績も包含されるが、いずれにしても、非定常状態で発生する材質不良の長さ或いはその所要処理時間を最短とするために、浸炭制御並びに板温制御を事前に設定するフィードフォワードの制御を行わなければならない。これを本実施例では最適ループ計算によって行う。

【0050】次に、前記各板温制御帯の最大通板速度と前記浸炭帯の最大通板速度を考慮した場合、ストリップが一連に通板される連続焼鈍浸炭設備では、いずれの通板速度が設備全体の通板速度を律速するかを判断しなければならない。この場合には、鋼板のあらゆる仕様諸元を考慮しなければならないが、しかもその仕様諸元は絶対条件として与えられる。

【0051】以上から、前記浸炭帯で得られる最大通板速度が、前記各板温制御帯で得られる各最大通板速度の最小値よりも大きい場合には、各板温制御帯の最大通板速度の最小値をライン通板速度として設定し、この通板速度で前記浸炭量を満足する浸炭炉の雰囲気条件を再度設定し直す必要がある。なお、この場合は浸炭時間が長くなるから、浸炭量一定の制約条件下では浸炭反応速度を低下させる方向、即ち雰囲気ガス中のCO濃度、H₂濃度を低下させる方向に設定し直すことになり、必然的に前記スーティングを発生しない条件を満足することに

なる。

【0052】逆に前記各板温制御帯で得られる各最大通板速度の最小値が、前記浸炭帯で得られる最大通板速度以上である場合には、浸炭帯の最大通板速度をライン通板速度として設定し、この通板速度で各板温制御帯の板温を満足するために炉温や燃料供給量を板温制御量として設定し直す必要がある。これらの制御概念を具体化したのが前記ホストコンピュータで行われる図5に示すロジックである。

【0053】このロジックでは、まずステップS20で浸炭帯、各板温制御帯を含む各炉の能力限界から各鋼板の仕様諸元を満足するために必要な炉温の上限値が設定される。次にステップS21に移行して、各板温制御帯での板温制御量及び浸炭帯での浸炭制御量が設定される。具体的には例えば、前記加熱帯2、均熱帯3において伝熱理論を基礎とした数式モデルに基づいて、前記ラジアントチューブ、炉壁、ストリップ、ハースロール等の間の伝熱係数を考慮したヒートバランスからプロセスモデル式を設定し、このプロセスモデル式に基づいて目標板温を満足する炉内温度、燃料ガス供給流量等を算出してフィードバック制御を行うためのプロセスモデル計算や、鋼板、即ちコイルの継ぎ目での板温変動を最小とする燃料ガス供給流量の最適時系列を算出し、これに基づいて対象コイル通板時にプリセットしてフィードフォワード制御するための最適ルート計算を行い、これらに基づいて各炉の最大通板速度を設定する。

【0054】一方、後段に詳述する浸炭帯4のステイニング条件及び浸炭条件をモデル化した浸炭モデル式に基づいて、定常状態のフィードバック制御を可能とするプロセスモデル計算や非定常状態のフィードフォワード制御を可能とする最適ルート計算を行い、これにより各鋼板の仕様諸元から設定される目標浸炭量、若しくは当該浸炭量を満足する浸炭濃度分布を得るために雰囲気組成及び浸炭温度を求め、その条件下で浸炭帯内の最大通板速度を設定する。

【0055】次にステップS23に移行して、浸炭炉を含む各熱処理炉内のハースロールのヒートクラウンを板温モデル等により予測計算し、ロールクラウンがストリップの蛇行限界内になるような最大通板速度を算出するサーマルクラウン計算を行う。これによりストリップの蛇行を抑制した安定操業範囲での炉の最大処理能力を達成することができる。

【0056】次にステップS24に移行して、前記ステップS22で設定された各炉内の最大通板速度を比較し、前記各板温制御帯の最大通板速度の最小値が浸炭帯の最大通板速度よりも小さい場合には当該板温制御帯の最大通板速度の最小値を、浸炭帯の最大通板速度が各板温制御帯の最大通板速度の最小値以下である場合には当該浸炭帯の最大通板速度を、夫々ライン全体の通板速度に設定する。

【0057】次にステップS25に移行して、前記ステップS24で設定されたライン全体の通板速度に基づいて各熱処理炉の制御量を再度設定し直す、制御量再設定計算を行う。ここで、前記浸炭帯で行われる浸炭制御について説明するにあたり、例えば前述した低A1-高BH鋼板のようなプレス成形性に富み且つ強度を有する鋼板を得るために要求されるストリップの仕様諸元に基づいて、本実施例における浸炭処理条件が従来の浸炭処理条件に比してどのようなレベルにあるのか、そしてその浸炭処理条件を満足するために必要な項目について説明する。

【0058】従来の浸炭技術は、歯車、シャフト、ベアリング等の所謂調質鋼からなる不連続物の耐磨耗性、耐衝撃性向上等のために表面硬化を目的として行われる。そのため、素材中のC量は0.05%以上で要求される浸炭量は0.1%以上、浸炭深さは0.5~1.5mm以上であり、従って浸炭所要時間は1~5時間にも及ぶ。このような条件下では鋼板表層部のC濃度が時間に対して平衡濃度に達しているから、図4に示すように浸炭速度は鋼中への拡散速度に従う鋼中拡散律速域であり、その浸炭速度は時間の平方根に比例する。この浸炭速度域では、鋼板表層部の鋼中平衡C濃度が、所定の値となるように鋼中拡散速度が表面反応速度と等しくなるように雰囲気ガスのカーボンポテンシャル(Cポテンシャル)を制御する必要があり、実際の操業管理指標としてはCO/CO₂の管理が重要になる。

【0059】一方、本実施例のようなストリップの連続浸炭においては、該ストリップが前記極低炭素鋼からなる連続物であり、このストリップの表面特性を改善すること及び鋼板そのものの材質の向上を目的として行われる。そのため、例えば前記の耐二次加工脆性の向上を対象とする金属に要求される仕様(特開平3-199344号公報など)から当該金属帯の浸炭条件を求めると、本実施例では素材中のC量は20ppmで要求される浸炭量は200ppm以下、浸炭深さは50~200μmであり、しかも通板速度に左右される浸炭時間は120秒以下になる。このような条件下では鋼板表層部のC濃度が時間に対して平衡濃度に達しないから、前出した葉らの報告にあるように、図4に示すように浸炭速度は鋼表面の反応速度に従う表面反応律速域であり、該浸炭速度は時間そのものに比例する。この表面反応律速域では浸炭量、浸炭深さ共に非平衡状態であるから、実際の操業管理指標として従来のように単に鋼中表層部の平衡C濃度となるようにCポテンシャル制御によってCO/CO₂を管理するだけでなく、炉内における多数の制御量を考慮して、要求される鋼板の仕様諸元から決定される浸炭量を得るように、浸炭条件を設定する必要がある。以下、本実施例において浸炭量を制御するために前記ホストコンピュータで処理されるロジックに則り、当該ロジックを構築する基本的な原理について説明する。

【0060】まず、本発明に係る非定常状態の浸炭制御をも含んで、前記表面反応律速域において雰囲気ガスの組成を制御するにあたっては前述のようにスーティングの発生を防止すると共に露点上昇を抑制する必要があるが、これらの状態発生メカニズムについて以下のように推論する。一般に、浸炭条件における雰囲気ガス組成は化学平衡により求めることができる。従来の解法では考え得る反応を全て列挙し、これらの反応の平衡関係から、非線形の連立方程式を解くことによってガスの組成を得ている。しかし、気相系の反応式だけでは正確な

す発生（スーティング）の限界を求めることが極めて困難である。
【0061】そこで本実施例では以下のようにして熱力学（雰囲気組成）モデル式を考え、スーティング発生を防止する雰囲気ガス組成を求めた。等温、等圧の系の場合、自然に起こる変化ではギブス自由エネルギーが減少し、平衡状態において系のギブス自由エネルギーは最小値をとる。従って、雰囲気ガスの平衡状態を求めるため*

$$F(X) = \sum_{i=1}^n f^g_i + \sum_{i=1}^p f^c_i, \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、n：ガス種の数、p：凝縮種の数を示す。

※ルエネルギー C^g_i に対して当該ガス種のモル数が x^g_i として下記2式～4式で与えられる。

【0064】ここで、前記ガス生成物に関するi番目のガス種の自由エネルギー f^g_i は、i番目のガス種のモル

$$f^g_i = x^g_i (C^g_i + \ln(x^g_i / X)) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$C^g_i = (F / (R \cdot T))^g_i + \ln P \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$X = \sum_{i=1}^n x_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

一方、凝縮生成物については、前記仮定の基に圧力及び混合の影響は除かれるので、h番目の凝縮種の自由エネルギー f^c_h は、h番目の凝縮種のモルエネルギー C^c_h ★
【0065】

$$f^c_h = x^c_h \cdot C^c_h \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$C^c_h = (F / (R \cdot T))^c_h \quad \dots\dots\dots (6)$$

なお、前記3式、6式中の $(F / (R \cdot T))^g_i$ は下記7式で定義される。

$$(F / (R \cdot T))^g_i = ((F - H_{i,298.15}) / T)_i / R + \Delta H^g_{f,i,298.15} / RT \quad \dots\dots\dots (7)$$

次にこの系における物質収支を考慮する。生成系の各成分量は変化しても、各元素、即ち雰囲気ガス成分中の炭素C、水素H、窒素N、酸素Oの原子単位で見れば夫々◆40

◆の総量は一定となる。この物質収支式は下記8式で表される。
【0066】

$$\sum_{i=1}^n a^g_{ij} \cdot x^g_i + \sum_{i=1}^p a^c_{ij} \cdot x^c_i = b_j \quad \dots\dots\dots (8)$$

但し、

$j = 1, 2, \dots\dots\dots, m$

a^g_{ij} ：i番目のガス種の分子に含まれるj番目の元素の原子数

a^c_{ij} ：i番目の凝縮種の分子に含まれるj番目の元素の原子数

b_j ：系に存在するj番目の元素の量

m：系に存在する元素種の数
を示す。

【0067】ここで本実施例では、前記ホストコンピュータ内に記憶させたプログラムにより、前記8式及び前記1式から線形化した雰囲気組成モデル式を設定し、この雰囲気組成モデル式から得られる解を収束して最適解を得ることとした。次に実際の連続浸炭における雰囲気

※には、生成系の各成分ガス濃度を変数として得られる全系のギブス自由エネルギーを目的関数とし、これを原系が持ち込む元素成分が一定であるという物質収支の制約条件下、具体的には炉内に供給される雰囲気ガス組成及び供給量と浸炭によって金属帯に炉内から持ち出されるC量が一定という制約条件下で最小値となるように各成分ガス濃度を求めればよい。この成分ガス濃度が与えられた炉温、炉圧における雰囲気ガスの平衡組成となり、スーティングC量は以下に述べるロジック中で凝縮種の一つとして表される。

【0062】雰囲気ガスの組成を算出するにあたり、二つの仮定を設定する。その一つは、気体は理想気体とすること。もう一つは、遊離Cに代表される凝縮相は気体と混合できないとすることである。この仮定の基にガス種と凝縮種との全自由エネルギー $F(X)$ は、i番目のガス種の自由エネルギー f^g_i 、h番目の凝縮種の自由エネルギー f^c_h に対して下記1式で与えられる。

【0063】

ガス組成の必要条件について考慮するにあたり、炉内のCバランスを下記9式、10式で与えた。なお、10式は鋼板の仕様諸元と表面反応速度によって算出される関*

$$W^{\circ}_i = W^{\circ}_c + W^{\circ}_o \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$W^{\circ}_c = \xi (V, t, w, LS) \quad \dots\dots\dots (10)$$

但し、

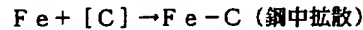
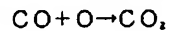
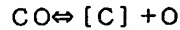
W°_i : 炉内に入る雰囲気ガス中のC質量

W°_c : ストリップに持ち去られるC質量

W°_o : 炉内から出る雰囲気ガス中のC質量

V : 表面反応速度、 t : 浸炭時間、 w : 板幅
を示す。

【0069】このようにして、浸炭炉内の連続浸炭の実際における物質収支を考慮した熱力学(雰囲気組成)モデル式に基づいて前記雰囲気諸元を算出することによ*



前述した葉らによれば鋼板表面部のC濃度が極めて低く且つ浸炭時間が極めて短い場合には浸炭条件が平衡状態に達せず、そのため13式の反応速度は12式の吸着酸素の脱離反応よりも速いために、この反応が律速反応で★

$$V = k \cdot PCO (PCO / (PCO + (ac/K))) \quad \dots\dots\dots (14)$$

但し、k : 反応速度定数、PCO : COガス分圧、ac : 炭素活量、K : 平衡定数を示す。しかしながら、前記14式には H_2 の影響が考慮されていない。 H_2 に関する☆



また、生成した CO_2 に対して下記16式で表される反応◆ ◆応等が考えられる。



これらの反応式に基づき、 H_2 は浸炭反応を促進する効果があり、 CO_2 、 H_2O は浸炭反応を阻害することが30 わかる。そこで本実施例では表面反応速度Vを下記17*

$$V = k_1 \cdot f_1 (PCO, PH_2, \theta) - k_2 \cdot f_2 (PCO_2, PH_2O) \quad \dots\dots\dots (17)$$

但し、 θ : 吸着酸素の被覆率、 k_1 、 k_2 : 反応速度定数を示し、反応速度定数 k_1 、 k_2 は下記17'式で※

$$k_i = A_i \cdot \exp(-E_i/RT) \quad \dots\dots\dots (17')$$

但し、 A_i : 頻度因子、 E_i : 活性化エネルギー、R : 気体定数、T : 絶対温度を示す。なお、頻度因子 A_i 、活性化エネルギー E_i 、気体定数Rはいずれも定数であるため、反応速度定数 k_1 、 k_2 は種々の絶対温度Tの条件下における実験値から算出した。

【0075】なお、本実施例においてCO濃度だけを考★

$$dC/dt = D \cdot d^2 C / dx^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

但し、C : 鋼中のC濃度、t : 時間、D : 拡散係数、X : 拡散距離を示す。なお、前記拡散係数Dは実測データにより近似的に表示することとした。従って、前記17式及び18式により鋼板への浸炭量を算出することができる。

【0077】ここで、前述のように浸炭処理の操業条件から通板速度を規制する場合、前記18式中の目標浸炭

*数である。
【0068】

※り、確実にスケーリングの発生を防止しながら、炉内の物質収支を考慮しないで求めた雰囲気諸元に比して雰囲気組成の浸炭力を高めることが可能となる。従って、例えば雰囲気ガス中のCO濃度を高めて通板速度を上げるといった実際の操業能力を向上することができる。

【0070】次に、本発明の非定常状態を含んで本実施例の主幹部を構成する浸炭量制御の原理について説明する。雰囲気ガスにCOを用いた場合の表面反応は下記11~13式のように考えられる。



★あると仮定し、この表面反応律速域における表面反応速度Vを下記14式で表した。

$$V = k \cdot PCO \quad \dots\dots\dots (14)$$

☆反応式としては、前記12式で表される反応式に対して下記15式で表される反応が考えられる。



◆ ◆応等が考えられる。



*式で表した。

$$V = k_1 \cdot f_1 (PCO, PH_2, \theta) - k_2 \cdot f_2 (PCO_2, PH_2O) \quad \dots\dots\dots (17)$$

※設定することができる。

$$k_i = A_i \cdot \exp(-E_i/RT) \quad \dots\dots\dots (17')$$

★慮すればよい場合、例えば雰囲気供給ガス流量が多い場合には、前記14式を表面反応速度式として使用してもよい。次に固溶炭素の鋼中拡散について考察する。鋼中へのCの拡散状態は下記18式で表される。

$$dC/dt = D \cdot d^2 C / dx^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

時間tから有効浸炭炉長Lをこの浸炭時間tで微分した値が通板速度Lとなる。以上の演算を前記ホストコンピュータに予め記憶されたプログラムにより順次行って、浸炭後の鋼板の仕様諸元と与えられるストリップへの浸炭量と、雰囲気ガス中のC減少量から算出されるストリップへの浸炭量とが一致する、浸炭条件を設定するためのロジックを図6のフローチャートに示す。

【0078】まずステップS1では、浸炭後の鋼板仕様諸元として与えられる条件設定から、雰囲気ガスの組成、投入ガスの流量、浸炭温度及び通板速度、鋼板諸元並びに鋼板の浸炭濃度分布から鋼板表面より指定深さX₁のC濃度C₁等の条件を讀込む。次にステップS2に移行して、前記鋼板諸元及び鋼板仕様から鋼板への設定浸炭量ΔCを算出する。

【0079】次にステップS3に移行して、前記ステップS1で讀込んだ雰囲気ガスの組成から前記雰囲気組成モデル式を設定する。次にステップS4に移行して、前記ステップS3で設定した雰囲気組成モデル式に従って雰囲気ガスの各成分濃度を算出する。次にステップS5に移行して、前記17式に基づいて鋼板の表面反応速度を算出する。

【0080】次にステップS6に移行して、前記18式*

$$\Delta C = \Delta C + (\Delta C' - \Delta C) \times b$$

但し、b：定数を示す。前記ステップS10では、前記目標浸炭量ΔCと設定浸炭量ΔCとの差の絶対値が所定値dより小さいか否かを判定し、両者の差の絶対値が所定値dより小さい場合にはステップS12に移行し、そうでない場合にはステップS11に移行する。

【0083】前記ステップS11では、前記浸炭濃度分布条件から設定される設定浸炭量を得るために雰囲気ガス流量、雰囲気組成、通板速度、浸炭温度の各パラメータの何れか一つ以上を変更して、前記ステップS2に移行する。前記ステップS12では、前記ステップS6で設定された鋼中拡散モデルに従って鋼板表面より指定深さX₁のC濃度C₁を算出する。

【0084】次にステップS13に移行して、前記ステップS1で讀込んだ鋼板表面より指定深さX₁の設定C濃度C₁と、前記ステップS12で算出した鋼板表面より指定深さX₁のC濃度C₁との差の絶対値が所定値eより小さいか否かを判定し、両者の差の絶対値が所定値eより小さい場合にはステップS15に移行し、そうでない場合にはステップS14に移行する。

【0085】前記ステップS14では、前記浸炭濃度分布条件から設定される設定浸炭量を得るために雰囲気組成、通板速度、浸炭温度の各パラメータの何れか一つ以上を変更して、前記ステップS2に移行する。前記ステップS15では、上記演算の結果得られた雰囲気ガス成分の濃度、全浸炭量、平均浸炭量、鋼板表面からの浸炭分布、スーティングC量、通板速度等の演算結果を出力してプログラムを終了する。

【0086】このプログラムによって算出された各浸炭温度における物質収支を考慮して求めたスーティングの発生限界を図7に実線で示す。同図において破線は露点上限を示す。また一点鎖線は物質収支を考慮しないで求めたスーティングの発生限界を示す。そして同図において斜線を施した部分が実浸炭操作における操作範囲を表す。

*に基づいて鋼中への浸炭速度を算出し、鋼中へのC拡散量を算出する。次に当該浸炭処理時間が経過した場合にはステップS7に移行して、前記ステップS6で算出された単位時間及び単位面積当たりの鋼中への拡散C量を処理時間及び鋼板総表面積で積分して鋼板への浸炭量ΔC'を算出する。

【0081】次にステップS8に移行して、前記設定浸炭量ΔCと浸炭量ΔC'との差の絶対値が所定値aより小さいか否かを判定し、両者の差の絶対値が所定値aより小さい場合にはステップS10に移行し、そうでない場合にはステップS9に移行する。前記ステップS9では、前記浸炭量に基づいて設定浸炭量を下記20式に基づいて補正し、前記ステップS3に移行する。

【0082】

……………(20)

【0087】同図から明らかなように物質収支を考慮して求めたスーティングの発生限界では、物質収支を考慮しないで求めたスーティングの発生限界に比してCO濃度もH₂濃度も高くなる。即ち、その分だけ浸炭速度も向上する。一方、浸炭温度が高くなるほどスーティングの発生限界に伴うCO濃度もH₂濃度も高くなる。このことは全体的な浸炭操業効率が温度にも依存することを意味するから、逆に通板速度を速くする場合には材質の許す範囲で炉内温度を高くする等の操業の余裕度が増すことになり、連続浸炭の実際における諸条件の設定範囲がより広がることになる。勿論、炉内の物質収支を考慮しないで求めたスーティングの発生限界に沿って操業範囲を設定してもスーティングは発生しないが、その分だけ操業の余裕度は減少し、諸条件の設定範囲は狭くなる。

【0088】また、このプログラムによって算出された各浸炭条件、即ち前記各制御量を変化させた場合の浸炭量と、実測された浸炭量との相関を図8に示す。同図から明らかなように、浸炭量の計算値と実測値とは非常によく一致している。このことは、前記浸炭速度、即ち表面反応速度の設定と、その温度依存係数の設定が正しいことを意味しており、表面反応速度の設定が正しい限り、本発明の連続浸炭方法は浸炭速度が拡散速度よりも大きい表面反応速度に従う領域での幅広い応用が可能であることを意味する。

【0089】次に、本プログラムによって算出される浸炭制御の定常状態の具体的演算例について説明する。ここで例えば、ステップS1で讀込まれた板厚諸元等の鋼板諸元から、前記ステップS2で所定(目標)浸炭量が設定される。また、前記ステップS1では鋼板の材質条件より目標浸炭温度が設定された。更に、前記ステップS1で讀込まれた通板速度で、前記有効浸炭炉長を除いて浸炭時間が算出される。

【0090】次いで、前記ステップS3及びステップS

4でスーティングを防止する雰囲気ガス条件としてCO濃度、H₂濃度の上限が設定される。これに対して前記ステップS3～S9のフローにおいて表面反応速度式、鋼中拡散モデル式が設定され、これらの式から前記目標浸炭量を達成するのに必要なCO濃度、H₂濃度、CO濃度、H₂O濃度、浸炭時間が設定され、同時に前記設定通板速度に対して、所望する浸炭時間を達成する通板速度が新たに設定される。

【0091】従ってこのロジックでは、浸炭濃度分布が要求されない場合は勿論、浸炭濃度分布が要求される場合にも、鋼板の仕様諸元から与えられた浸炭量を満足しながら、スーティングを発生しない条件下で最大処理能力を得るように前記各浸炭制御量が設定される。次に、本発明の非定常状態の浸炭量制御を実行する本実施例の浸炭条件設定の構成概念及びその具体的ロジックについて説明する。なお、説明に先立って、前記図6に示す浸炭量制御ロジックは定常状態、非定常状態のいずれの場合にも、スーティングの発生を防止して所望される浸炭量を得ることの可能なものであるから、後述する非定常状態の浸炭条件設定ロジックは場合によってこの浸炭量制御ロジックの上位にもなり得るし、下位にもなり得る。また、この実施例の非定常状態の浸炭条件設定ロジックは、最終的に目標浸炭量を達成する通板速度を設定するものであるが、このように設定した通板速度が果して前記各熱処理帯での板温制御を満足するものであるとは限らない。従って、この非定常状態の浸炭条件設定ロジックは、前記図5のトータルライン制御ロジックのうち、ステップS21中の最適ルート計算の一部を構成することもあるし、或いはこのトータルライン制御ロジックの前提条件としてその上位に位置することもある。以上の理由から、本実施例では、以下に述べる非定常状態の浸炭条件設定ロジックを含む全てのロジックでループを組み、それらの全ての設定計算から最適解を得るようにしてある。

【0092】前述したように、浸炭濃度分布を含む鋼板の仕様諸元から得られる浸炭量の制御量として、応答時間の短い順に列記すれば通板速度（浸炭時間）、雰囲気ガス組成又は組成ガス濃度から設定される雰囲気組成、浸炭温度が挙げられる。前述のようにして得られた次の鋼板の定常状態へ移行する非定常状態で、これらの制御量が変動している状態で所望される浸炭量を達成するには、応答時間の短いものの順に制御するのが最も容易である。

【0093】しかしながら、前記非定常状態で、炉内のスーティングの発生を防止するための制御量である浸炭温度や雰囲気組成が変動している場合は、浸炭薄鋼板の表面性状の劣化を防止するために、このスーティングを発生しない条件を優先しなければならない。このように浸炭温度や雰囲気組成が変動している場合にスーティングの発生しない条件下で所望する浸炭量を達成するため

には、現在・過去を含むそれらの制御量の実績に応じ、その他の制御量を設定する必要がある。

【0094】ここで、このような非定常状態においても、前記図6の浸炭量制御ロジックのうち、例えば前記ステップS1で、浸炭温度を達成するために炉内温度を制御しているコントローラから炉内温度の実績や、雰囲気組成を制御しているコントローラから雰囲気組成の実績を読み込むようにして、当該浸炭量制御ロジックを所定の時間間隔で時々刻々行うことにより、例えば通板速度のみを変更する場合や、炉内温度一定の条件下で雰囲気組成及び通板速度を変更する場合にも、必ずスーティングの発生しない条件下で、所望する浸炭量を可能な限り達成することができる。

【0095】しかし、非定常状態を通して浸炭温度を変更するために炉内温度が変動している場合には、前記スーティングの発生しない条件から制御の優先順位が変動する。即ち、前述のように炉内温度で設定される浸炭温度の下に、最大処理能力を発揮するように設定されたCO濃度やH₂濃度では、炉内温度を下げるとスーティングが発生してしまう。従って、炉内温度を下降する場合には雰囲気組成中のCO濃度並びにH₂濃度の減少を先行させなければならない。一方、炉内温度を上昇する場合には、この炉内温度の上昇に見合った分だけCO濃度及びH₂濃度を増大しなければならない。

【0096】この浸炭温度を変更する場合の具体的な浸炭条件設定ロジックが図9に示すフローチャートである。なお、この実施例では雰囲気組成や炉内温度（炉温）を制御する各コントローラは所望されるそれらの制御量を設定通りに変更するために、常に実績を読み込みながら制御を行う。また、各ステップでは夫々、前記浸炭量制御ロジックと同様の計算がサブルーチン的に行われると考えられたい。

【0097】同図aは浸炭温度下降のために炉内温度を下降する場合のロジックであり、まずステップS30で浸炭濃度分布や板厚等の材質条件を読み込む。次にステップS31に移行して、前記定常状態のロジックから得られる目標浸炭温度を達成するための目標炉温を設定する。これと同時に前記ステップS30からステップS32に移行して、材質条件から目標浸炭量を設定しておく。

【0098】前記ステップS31からは次にステップS33に移行して、目標炉温までの炉温変動を時系列的に予測し、この炉温変動の下で雰囲気ガス組成及び組成ガス濃度等の雰囲気組成の変更計算を行い、これにより時系列的な雰囲気組成を設定する。前記ステップS33からは次にステップS34に移行して、前記ステップS33で設定された雰囲気組成の制御信号を受信した雰囲気組成コントローラでは、雰囲気組成の実績を読み込みながら各雰囲気組成ガス流量を制御して、前記時系列的な雰囲気組成変更を達成する。

【0099】前記ステップS34からは次にステップS35に移行して、前記雰囲気組成の実績を読みながら、炉温の変更計算を行い、これにより時系列的な炉温を設定する。前記ステップS35からは次にステップS36に移行して、前記ステップS35で設定された炉温の制御信号を受信した炉温コントローラでは、炉温の実績を読みながら燃料ガス流量を制御するなどして、前記時系列的な炉温変更を達成する。

【0100】前記ステップS32及びS36からは次にステップS37に移行して、前記雰囲気組成実績及び炉温実績に応じて、前記目標浸炭量を達成するための通板速度を計算し、これを出力してプログラムを終了する。同図bは浸炭温度上昇のために炉内温度を上昇する場合のロジックであり、まずステップS40で浸炭濃度分布や板厚等の材質条件を読み込む。

【0101】次にステップS41に移行して、前記定常状態のロジックから得られる目標浸炭温度を達成するための目標炉温を設定する。これと同時にステップS42に移行して、材質条件から目標浸炭量を設定しておく。前記ステップS41からは次にステップS43に移行して、目標炉温までの炉温変動を時系列的に予測して炉温の変更計算を行い、これにより時系列的な炉温を設定する。

【0102】前記ステップS43からは次にステップS44に移行して、前記ステップS43で設定された炉温の制御信号を受信した炉温コントローラでは、炉温の実績を読みながら燃料ガス流量を制御するなどして、前記時系列的な炉温変更を達成する。前記ステップS44からは次にステップS45に移行して、前記炉温の実績を読みながら、雰囲気組成の変更計算を行い、これにより時系列的な雰囲気組成を設定する。

【0103】前記ステップS45からは次にステップS46に移行して、前記ステップS45で設定された雰囲気組成の制御信号を受信した雰囲気組成コントローラでは、雰囲気組成の実績を読みながら各雰囲気組成ガス流量を制御して、前記時系列的な雰囲気組成変更を達成する。前記ステップS42及びS46からは次にステップS47に移行して、前記雰囲気組成実績及び炉温実績に応じて、前記目標浸炭量を達成するための通板速度を計算し、これを出力してプログラムを終了する。

【0104】この非定常状態の浸炭条件設定ロジックによって行われる制御量の制御の具体的演算例を図10に基づいて説明する。図10は、板厚Dmm一定の浸炭量の異なる2種類の鋼板、ここではA鋼板とB鋼板との間の非定常状態で、図9aのロジックに従って浸炭温度即ち炉内温度を下降する場合を示す。同図において炉温は設定時刻 t_1 から時刻 t_2 の間で一次曲線的に下降される。この炉温変動の条件下で、 H_2 濃度一定とした場合、スーティングの発生限界を示す雰囲気 CO 濃度は図に斜線で示す範囲となるから、このスーティングの発生

しない組成範囲内で、時間 $t_1 - t_2$ 間の炉温変動中における雰囲気 CO 濃度の変更曲線が設定される。

【0105】ここで、各鋼板の定常状態の通板速度は予め設定されるから、同図に破線で示すように時間 $t_1 - t_2$ 間の非定常状態で定常状態の通板速度を一次曲線的に上昇した場合は、各鋼板への浸炭量はこの時間 $t_1 - t_2$ 間で図に破線で示すように変動し、この変動間はいずれの浸炭量も満足しない、所謂材質不良となる。換言すれば、この長さだけ通板材が必要になる。

【0106】一方、本実施例では変動中の炉温及び雰囲気組成の実績に合わせて、目標浸炭量を達成するように通板速度を変更制御するため、具体的に通板速度は図に実線で示すように、時刻 t_1 から t_2 間で CO 濃度の変動に合わせて減少し、時刻 t_2 から時刻 t_3 間で可能な限り急速に増大し、時刻 t_3 から時刻 t_4 間で前記 CO 濃度の変動に合わせて再び減少して、当該時刻 t_4 で次の定常状態の通板速度に至る。これにより各鋼板の浸炭量は図に実線で示すように変化する。この場合、各鋼板の目標浸炭量から外れる材質不良長は、前記通板速度を急速に増大する時間 $t_2 - t_3$ 間だけに短くなり、当然必要通板材長も短くなる。

【0107】この実施例によれば、前記非定常状態の前記時間 $t_1 - t_2$ に相当する20分間の処理量は従来よりも20%向上し、その間の材質不良率は従来の80.1%から10.4%と約1/8になった。なお、本実施例では表面反応において CO 、 H_2 、 CO_2 及び H_2O の影響のみを考慮して表面反応速度を算出する場合について詳述したが、前述したようにその他の雰囲気ガス組成、例えば重炭化水素の影響を考慮して表面反応速度を算出するようにしてもよい。

【0108】また、本実施例では物質収支を考慮した熱力学モデル式を線形化し、その解を収束することによって雰囲気組成の平衡状態を算出することとしたが、この平衡状態の算出手段はこれに限定されるものではない。また、本実施例では特に極低炭素鋼からなるストリップを連続焼鈍・浸炭して、浸炭濃度が平衡濃度に達する以前で浸炭速度が表面反応速度に律速される表面反応律速域での浸炭制御についてのみ詳述したが、本発明の連続浸炭方法は、前記浸炭速度が金属帯表面から内部への拡散速度に律速される拡散律速域においても展開可能であることは言うまでもない。

【0109】

【発明の効果】以上説明したように本発明の金属帯の連続浸炭方法によれば、先の定常状態から次の定常状態に移行する非定常状態において、浸炭温度、雰囲気ガス組成、組成ガス濃度、通板速度の制御量を、スーティングの発生しない範囲内で所望される浸炭量を達成するように、互いの制御量の実績に応じて設定することにより、材質不良の長さ或いはその間に使用される通板材の長さを短くすることができるため、実質的な処理能率の低減

を抑制し、全体的な操業コストを低廉化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】連続焼鈍浸炭設備で行われる熱処理工程の概念説明図である。

【図2】本発明の金属帯の連続浸炭方法を用いた浸炭制御の対象となる連続焼鈍浸炭設備の一例を示す概略構成図である。

【図3】低A1-高BH性鋼板等に要求される板厚方向への浸炭濃度分布の説明図である。

【図4】金属帯表面部の炭素濃度が平衡濃度に達した後の拡散律速域と該平衡濃度に達する以前の表面反応律速域との説明図である。

【図5】図2の連続焼鈍浸炭設備で行われる全体的なライン制御のロジックを示すフローチャート図である。

【図6】本発明の金属帯の連続浸炭方法を用いて浸炭制御を行うロジックの一例を示すフローチャート図である。

【図7】図6の浸炭制御ロジックにより得られたスチーティング発生限界と炉内の物質収支を考慮しないで得たス*20

*ーティング発生限界とを比較したC-O-H₂特性図である。

【図8】図6のロジックによって得られた浸炭量の計算値と実測値との相関関係図である。

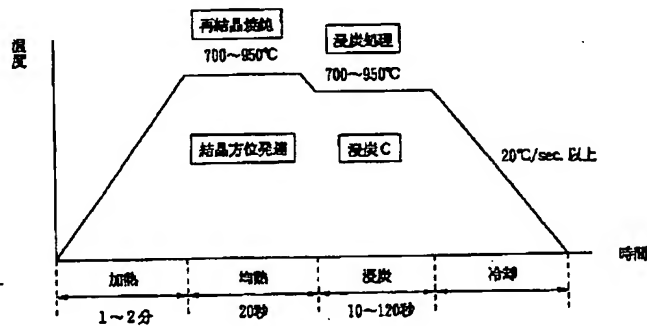
【図9】本発明の非定常状態の金属帯の連続浸炭方法により浸炭条件設定を行うためのロジックを示すものであり、(a)は炉温を下げる場合のフローチャート図、(b)は炉温を上げる場合のフローチャート図である。

10 時間変更制御の内容と、それによって達成される浸炭量の相関関係の一例を示す説明図である。

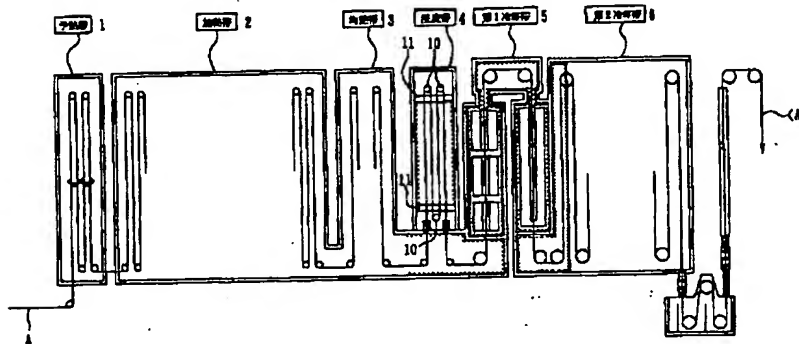
【符号の説明】

- 1は予熱帯
- 2は加熱帯
- 3は均熱帯
- 4は浸炭帯
- 5は第1冷却帯
- 6は第2冷却帯
- Aはストリップ

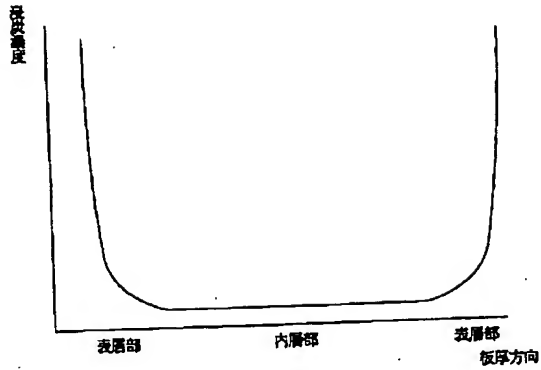
【図1】



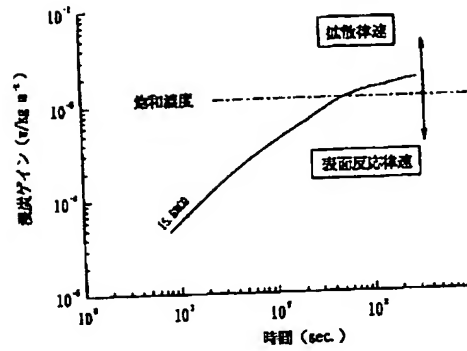
【図2】



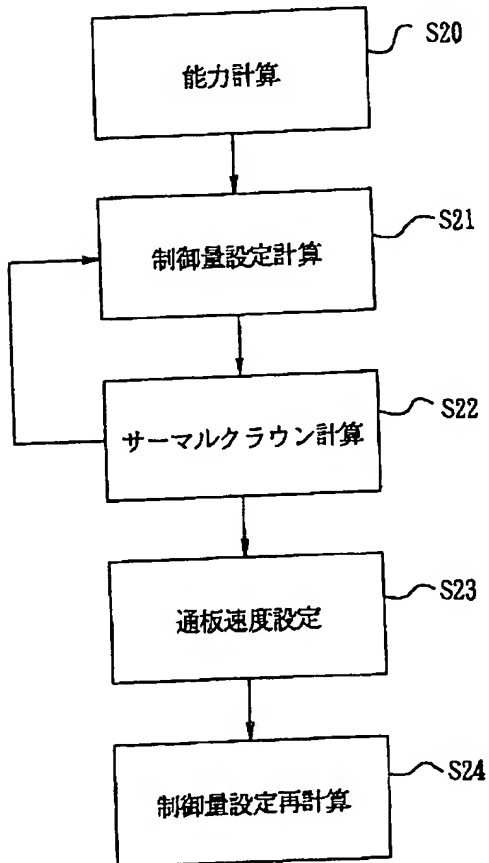
【図3】



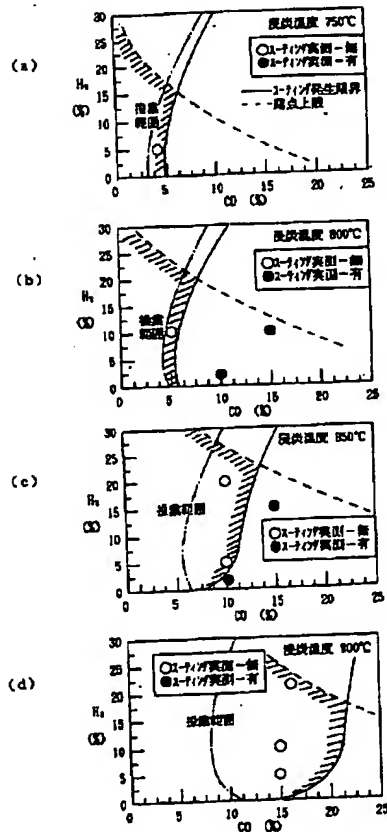
【図4】



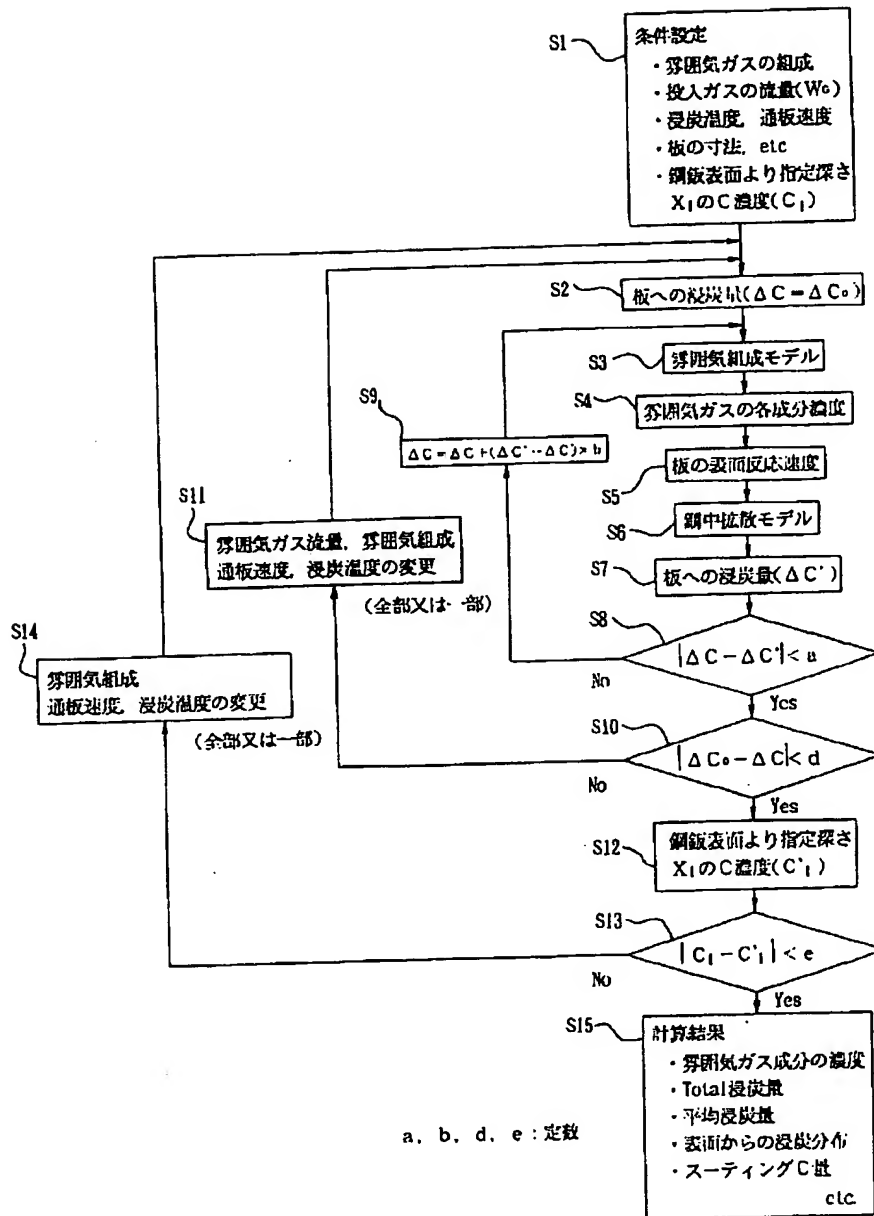
【図5】



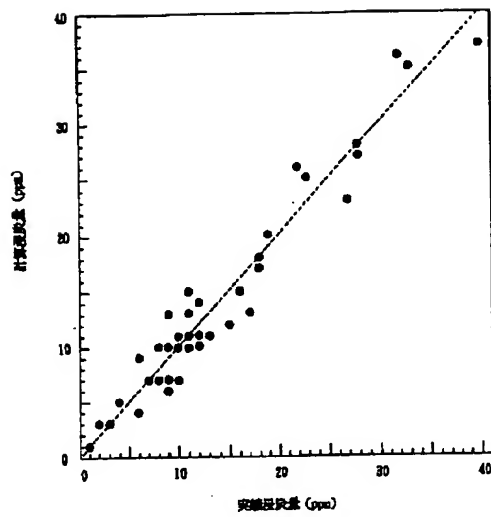
【図7】



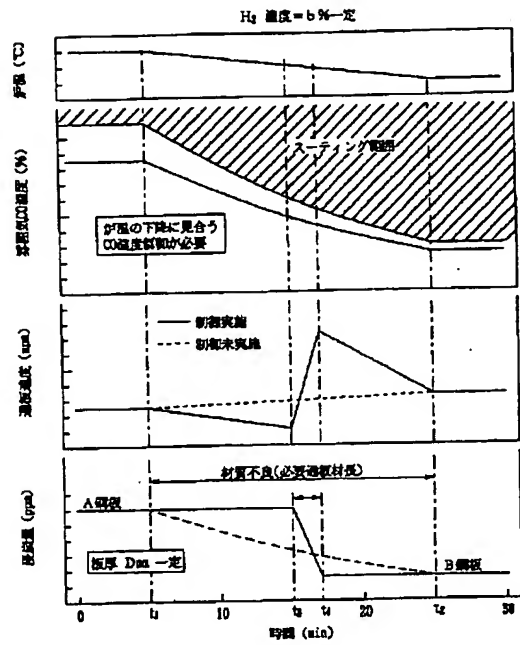
【図6】



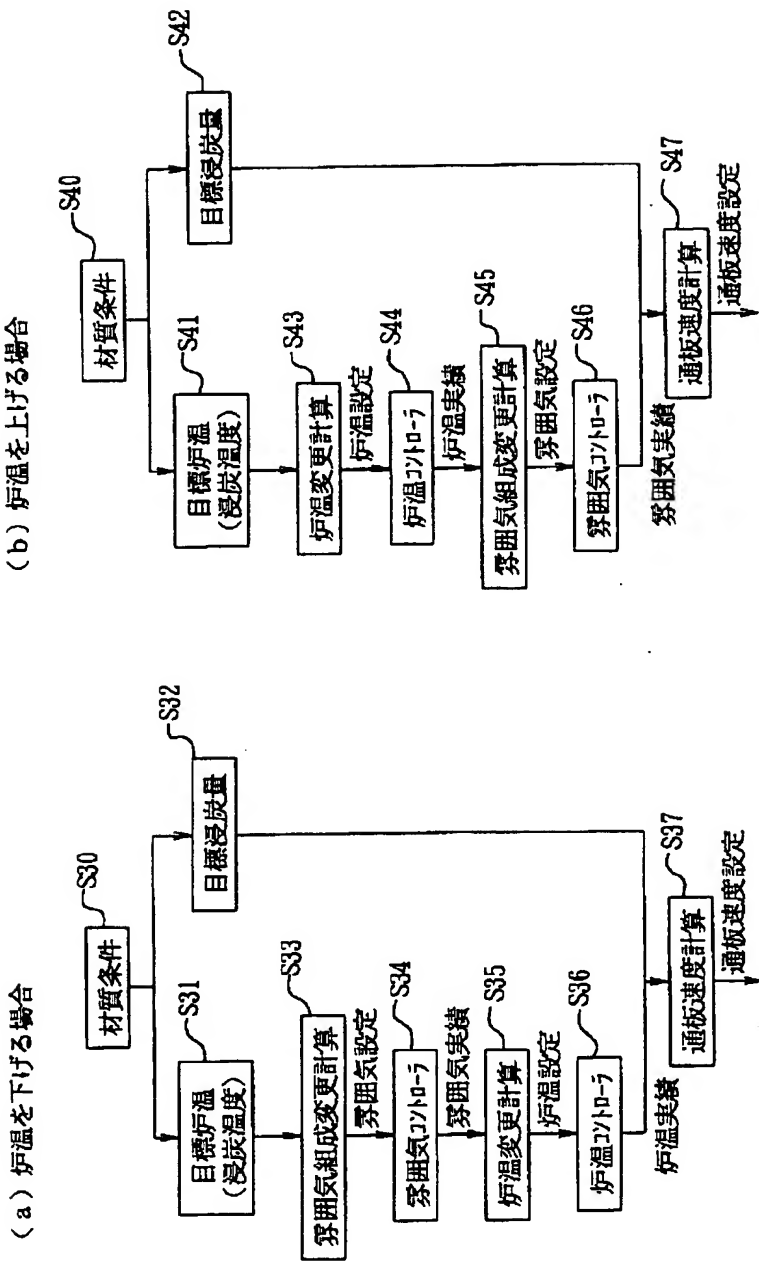
【図8】



【図10】



【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.